

УДК 681.3

И. Г. Сухорукова, ассистент (БГТУ); **Д. А. Гринюк**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
И. О. Орбей, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

АДАПТАЦИЯ КРИТЕРИЯ СЕРИЙ К ПРИМЕНЕНИЮ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Статья посвящена вопросам адаптации критерия серий для использования в алгоритмах управления технологическими процессами. Обосновывается применение данного критерия на программируемых логических контроллерах (ПЛК) малой и средней мощности. В качестве объекта с разнообразными источниками получения информации выступала система регулирования температуры воздуха. Объект обладает нелинейными свойствами, которые усложняют его анализ. В программируемом логическом контроллере были реализованы типовые алгоритмы фильтрации. Запись данных и их обработка осуществлялись с помощью MatLAB. Произведена оценка шумов. Выбор настроек критерия производился с учетом динамики объекта и датчиков. Качество фильтрации и наличие статической ошибки влияют на точность метода. Быстродействие современных ПЛК позволяет использовать небольшую длину серии.

The article is devoted to adaptation criterion series for use in process control algorithms. Criterion series proposed for detecting abrupt changes in trend information and diagnostics of device. Justified the use of this criterion on the programmable logic controllers, small and medium power. As the object acted air temperature control system, which has a variety of sources of information. Object has a non-linear properties, which complicates the analysis. In programmable logic controller was implemented standard algorithms filtration. Data recording and processing was carried out using MatLAB. The estimation of noise that affects the sensors thermal object. Selection criterion settings should be done taking into account the dynamics of the object and the sensor. Quality filtration and static errors affect the accuracy of the method. Speed of modern the programmable logic controllers allows to use a small length of the series or multiple series.

Введение. Наличие автоматизации технологических процессов стало обязательным условием в современной экономической среде. Период экстенсивного пути повышения уровня автоматизации за счет установки измерительных приборов с необходимой точностью и настройкой локальных контуров практически завершился. В настоящее время уже недостаточно просто настроить пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор. Получение конкурентных преимуществ требует применения более сложных алгоритмов, адаптации локальных контуров под действием изменяющихся контуров и оптимизации в реальном времени. В англоязычной литературе возник специальный термин: усовершенствованное управление Advanced Process Control (APC) [1, 2].

На сегодняшний момент основные задачи управления реализуются с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК) для построения распределенных систем управления (PCU). Вычислительные ресурсы разных классов ПЛК существенно отличаются. Контроллеры с высоким уровнем ресурсов, которые могут решать широкий класс задач управления, имеют более высокую стоимость. Это является следствием требования по обеспечению работы ПЛК в режиме реального времени. В то же время основную нагрузку по управлению в промышленности выполняют контроллеры с малой и средней вычислитель-

ной мощностью, в которых имеется ограничение на объем памяти и реализацию алгоритмов теории управления [3].

Основная часть. Из теории управления известно, что настройки системы для оптимального переходного процесса по возмущению и сигналу задания имеют отличия. Однако по причине сложности предугадывания ситуаций на объекте управления наладчики оборудования устанавливают единые настройки. На объектах, в которых наблюдаются взаимовлияния отдельных контуров регулирования, настройки регулятора выбираются с еще большим запасом по устойчивости для обеспечения робастности работы контуров.

Одной из возможностей предсказания смены режимов работы настроек системы регулирования при ограничении на вычислительные мощности является использование критерия серий для выявления изменений трендов. Исследования [4] по критерию серий проводились в условиях воздействия на информационный поток случайного процесса, сгенерированного с помощью программы MatLAB. Известно, что результаты, апробированные на математических моделях, нередко расходятся с данными, полученными на реальных объектах. Чаще всего математический аппарат лучше адаптирован к работе с нормальным распределением случайных величин, которое не всегда выполняется в реальных процессах. Применение критерия

серий позволяет реальные данные преобразовать в промежуточные, для которых соблюдается нормальное распределение.

С целью адаптации критерия серий был проведен ряд экспериментов, базой для которых служил контроллер VIPA 200V. Он относится к серии средних ПЛК и может реализовывать алгоритмы ПИД-регулирования и цифровой фильтрации. По производительности, объему памяти и функциональности эти контроллеры стоят в одном ряду с такими системами как Simatic S7-300, Modicon TSX Micro, OMRON CJ1, MELSEC AnAS. Время выполнения операции с битами – 0,25 мкс, со словами – 1,2 мкс. Объем памяти: 48 кбайт рабочей памяти, 80 кбайт загрузочной памяти [3].

Методика исследования. Контроллер подключен к оборудованию с тепловыми нагревателями, которые обдувались потоком воздуха. Скорость потока регулировалась путем изменения частоты вращения двигателя вентилятора. В качестве информативных параметров использовались температуры воздуха на входе и выходе, информация о частоте с привода напрямую и через вторичный преобразователь. Каждый из этих информационных каналов обладает своей особенностью, связанной с источником сигнала и способом попадания во входной регистр контроллера в виде цифровых данных.

Контроллер имеет два вида входных аналоговых модулей. Один из модулей имеет 12-битовый выходной цифровой код с максимальным значением 16 384, но с учетом того, что три младших разряда всегда имеют нулевое значение, то весь диапазон разбивается всего на 2048 уникальных комбинаций цифрового кода. У другого модуля контроллера максимальное значение сигнала 27 648. В нашем случае ко второму модулю подключен термометр сопротивления с градуировкой Pt100 (поток 1) и младшему значащему разряду (МЗР) соответствует температура 0,1°C. Однако, как и в первом случае, часть младших разрядов также заполняется нулями (рис. 1). С точки зрения удобства использования результатов подобных данных в контурах регулирования, их обычно сглаживают с помощью фильтров. Наиболее простым решением является использование экспоненциального фильтра или скользящего среднего. Поэтому в контроллере для потока 1 были реализованы различные варианты фильтрации. Время дискретизации настраивалось с помощью встроенного механизма организационного блока OB35, который устанавливает время дискретизации $h = 500$ мс как для экспоненциального фильтра с постоянными времени $T = 10$ с (поток 2) или $T = 100$ с (поток 3), так и для скользящего среднего с длиной 6.

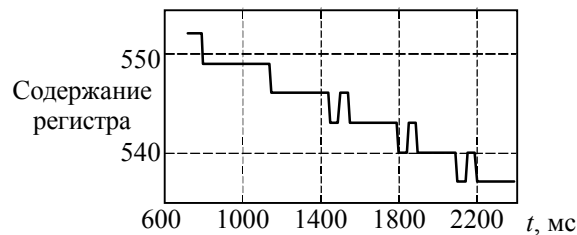


Рис. 1. Изменение во времени t данных потока 1

Для реализации фильтра использовалась формула Эйлера [4]:

$$y_i = \frac{T}{T+h} y_{i-1} + \frac{h}{T+h} x_i, \quad (1)$$

где y_i, y_{i-1} – выход фильтра на данном и предыдущем тактах; x_i – входной сигнал фильтра.

Скользящее среднее реализовано формированием в памяти очереди по принципу FIFO и делением на длину очереди. При этом формировалось два FIFO, в одном случае использовались данные непосредственно с входного регистра в формате integer (поток 4), в другом – в формате real после преобразования с помощью встроенной функции FC105 Step 7 (поток 5).

Термометр сопротивления на входе в объект через интеллектуальный вторичный прибор, настроенный на диапазон 0–150°C, подключался к модулю с 12-битовым АЦП и МЗР $\approx 0,073^\circ\text{C}$ (поток 6). К этому модулю был подключен и сигнал с частотного привода через вторичный прибор с МЗР $\approx 0,024$ Гц (поток 7). Сигнал о частоте напрямую с привода позволял получить МЗР $\approx 0,0018$ Гц (поток 8).

Управление и фиксация данных осуществлялись с помощью MatLAB по структуре обмена данными, приведенной на рис. 2. Опрос данных происходил с частотой 0,1 с. Исходные данные с входных регистров одновременно пропускались через фильтры низкой частоты с постоянными времени 10 и 100 с. Работа критерия оценивалась в условиях ступенчатого изменения сигнала задания по частоте с различным размахом, а также при плавном подъеме и опускании частоты с различной скоростью нарастания. Основные тренды изменения температуры на выходе θ_{out} и входе θ_{in} представлены на рис. 3 и 4.

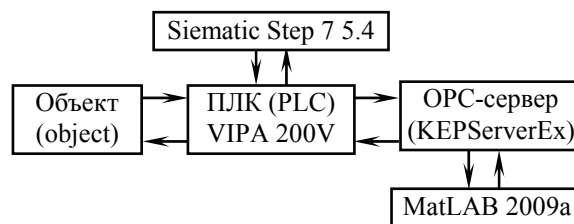


Рис. 2. Структура обмена данными

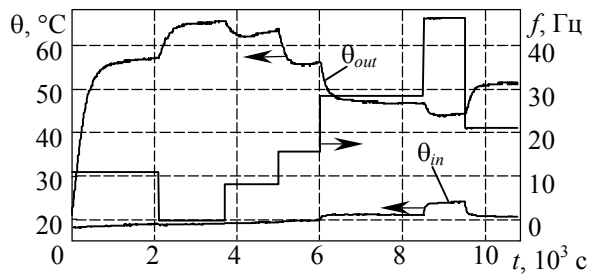


Рис. 3. Переходные процессы на объекте при ступенчатом изменении частоты

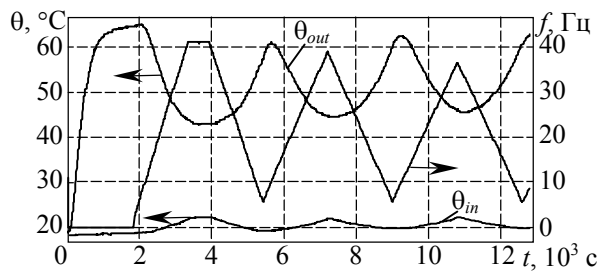


Рис. 4. Переходные процессы на объекте при пилообразном изменении частоты

Контур регулирования $f - \theta_{out}$ характеризуется существенной нелинейностью (рис. 5), которая может меняться под воздействием входной температуры.

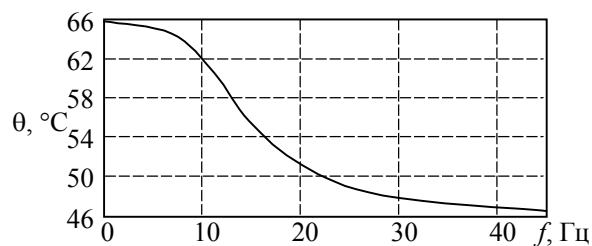


Рис. 5. Статическая характеристика объекта

Результаты и их обсуждение. Данные эксперимента далеки от идеальных условий, которые можно получить в результате имитационного моделирования в MatLAB (рис. 6–7).

Ограничение по разрядности работы входных АЦП, которые являются стандартом для современных контроллеров, существенно «замыливают» данные и затрудняют извлечение дополнительной информации из шумовых составляющих измерительных трактов.

Встроенные в MatLAB тесты: Jarque – Bera, Lilliefors, Kolmogorov – Smirnov – указывают на то, что измерительные каналы подвержены влиянию шумов с нормальным распределением. Распределение плотности вероятности для помех измерительных каналов представлены на рис. 8.

Входная температура подвержена влиянию гидродинамики воздушного потока (возможно и температуры двигателя), которые приводят к повышению сигнала измерительного преобразователя θ_{in} с ростом частоты.

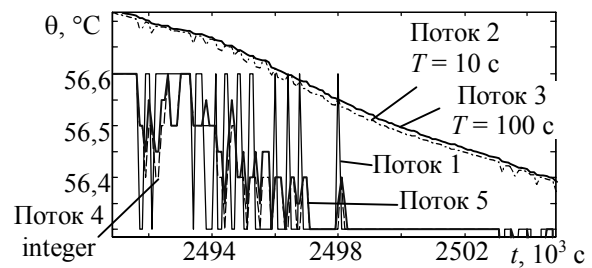


Рис. 6. Фрагмент тренда данных выходной температуры при обработке фильтрами

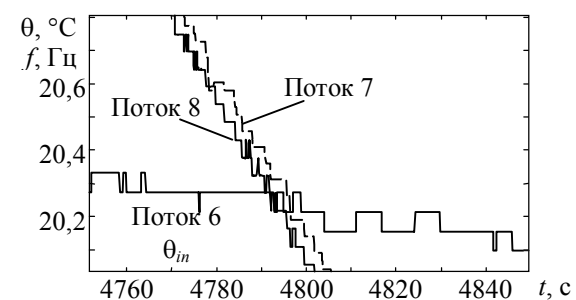


Рис. 7. Фрагмент тренда данных входной температуры и частоты с привода

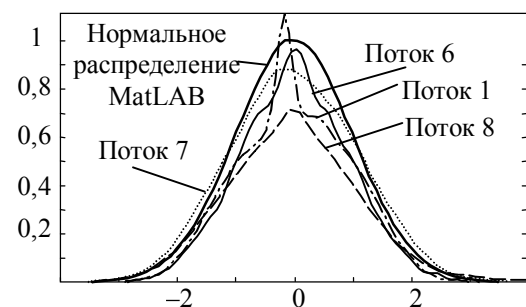


Рис. 8. Распределение плотности вероятности шумов в измерительных каналах и нормальное распределение, сгенерированное функцией random() MatLAB

Некоторые результаты обработки данных относительно среднего значения серий μ отражены на рис. 9–12. Чтобы не утратить преимущество данного критерия, для ПЛК длина серий N не задавалась выше 128. В отличие от математических экспериментов [5], в данном случае присутствует дополнительная настройка времени выборки данных t_i . Выбор t_i зависит от динамических свойств измерительных и регулируемых каналов. Для данного объекта оптимальным является значение в районе 8–12 с.

При $Nt_i = \text{const}$ наблюдается практически полное совпадение (рис. 12). Увеличение длины серии при $Nt_i = \text{const}$ способствует сглаживанию колебаний μ . В случае наличия в работе фильтра существенной статической ошибки относительно исходных данных наблюдается асимметрия реагирования на изменения параметра в сторону повышения или уменьшения.

Графики на рис. 8–11 приведены для фильтра с постоянной времени $T = 100$ с. Для фильтра с меньшей постоянной они более зашумлены и в большей степени нелинейны. Это в первую очередь обусловлено существенной разницей в характеристике между аналоговым фильтром и его цифровой реализацией. При фильтрации данных с помощью MatLAB характеристика получается значительно идеальнее.

Фильтр скользящего среднего не позволил уверенно выявлять тренды ввиду несоизмеримости его длины со скоростями изменения измерительной информации. Формирование FIFO для данного фильтра в MatLAB со значительно большими интервалами позволило обеспечить устойчивую работу критерия серий.

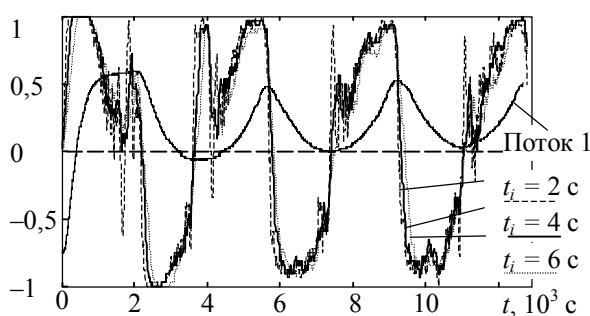


Рис. 9. Относительные изменения θ_{out} и μ при длине серии $N = 48$ и разном времени дискретизации t_i

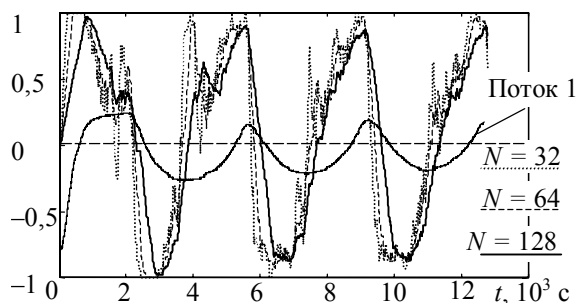


Рис. 10. Относительные изменения θ_{out} и μ при $t_i = 6$ с и разной длине серии

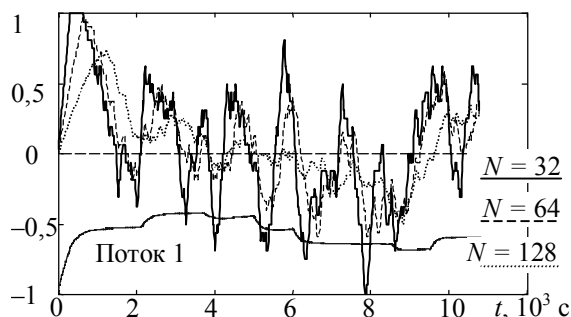


Рис. 11. Относительные изменения θ_{out} и μ при $t_i = 10$ с и разной длине серии

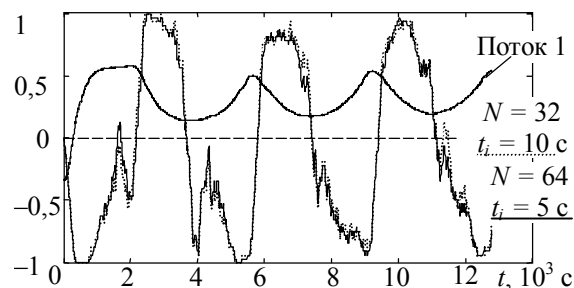


Рис. 12. Относительные изменения θ_{out} и μ при $N t_i = \text{const}$

Анализ результатов обработки данных с помощью критерия серий по входной температуре не выявил проблем с выявлением нестационарности. Малое проявление дискретизационных эффектов в данном измерительном канале обеспечило устойчивую работу критерия.

Заключение. В целом для задач выявления резких изменений трендов информационных потоков критерий серий проявил себя с наилучшей стороны. Высокое быстродействие ПЛК позволяет ограничиться невысокой длиной серий N для выявления критических явлений. Тщательная настройка N и t_i может позволить производить грубую оценку скорости, особенно, если оценивать μ по нескольким N .

Литература

1. Emerson Process Management [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/en-us/brands/deltav/advanced/pages/index.aspx>. Дата доступа: 4.02.2013.
2. Журнал Control Engineering Россия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://control-engrussia.com/proekty-i-vnedrenija/metody-usovershenstvovannogo-upravlenija-processami>. Дата доступа: 4.02.2013.
3. VIPA GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vipa.co.uk/products/system-200v/cpus>. Дата доступа: 6.02.2013.
4. Олсон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский диалект, 2001. 557 с.
5. Сухорукова И. Г., Оробей И. О., Гринюк Д. А. Эффективность работы адаптации фильтра на критерии серий // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2011. Вып. XIX. С. 107–111.

Поступила 03.03.2014